Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 1, June 2024, pp. 23-37
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۳، ص. ۳۷-۲۳
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.80655.1051

Investigation of Diversity of Root Traits of Chickpea Lines

Zahra Shekari[1], Zahra Tahmasebi[2*], Homayoun Kanouni[3], Ali Asherf Mehrabi[4]

Received: 16-01-2023
Revised: 06-09-2023
Accepted: 23-01-2024
Available Online: 01-06-2024

Cite this article:
Shekari, Z., Tahmasebi, Z., Kanouni, H., & Asherf Mehrabi, A. (2024). Investigation of diversity of root traits in chickpea lines. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 23-37. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.80655.1051

Introduction
Chickpea is the third most important grain legume and its seeds contain protein that is an important energy source for human. Drought diminishes crop yields and carries the potential to result in total crop failure. However, chickpeas are renowned for their superior drought tolerance compared to many other cool-season legumes. Given that water availability is the primary constraint on growth in arid conditions, optimal yields and crop production occur when plants efficiently absorb the limited soil moisture available. This feature will only be achieved through the compatibility mechanisms associated with the root system. Chickpea have a direct and deep root system that helps the plant absorb moisture from the lower layers of the soil. Therefore it has led to the prosperity of its cultivation in rainfed areas. Water absorption by the plant depends on the size of the root, its activity and distribution in the soil. Therefore, it seems that the understanding of plant root traits is necessary to further understand the mechanisms of drought resistance. In general, few studies have been done on the diversity of legume roots. Therefore, this research was carried out with the aim of investigating the diversity of root morphological traits of chickpea lines in order to use these traits to select drought-tolerant chickpea lines.

Materials and Methods
The plant materials of this experiment included 39 chickpea lines of Icarda origin, which were taken from the Kurdistan Research Center. The experiment was conducted as a completely randomized design with four replications in the research greenhouse of Ilam University. Seeds were implanted in PVC tubes with a diameter of 10 cm and a length of 60 cm. A drip irrigation system was designed in such a way that an emitter was located inside each tube. With this method, the test tubes were in favorable conditions. In the greenhouse the temperature was under control and had a temperature of 25 degrees Celsius and an average humidity of 70% and the plants used natural light without any additional light. After 35 days of seed germination traits were measured. For this purpose, first the aerial parts of the plant were separated by scissors. After separating the roots from the PVC tubes, they were placed in ethanol with a concentration of 98% and after being transferred to the laboratory, they were stored in the refrigerator, then the traits were measured. Variance analysis of traits and average comparison of data was done with Duncans multi-range test using SAS software version 9.1.

Results and Discussion
All the measured traits had a good variation range among the studied chickpea lines that these results are consistent with previous studies. None of the lines showed superiority for all root traits. Line FLIP07-20C having the longest root length, can benefit from the water available in a larger volume of the soil profile. In the examination of rooting depth in grain legumes, such as chickpeas, it was observed that root length remains relatively stable across a broad spectrum of soil moisture levels. Root length is considered a crucial parameter in plant growth, as researchers posit that the length of roots per unit of soil volume is the most effective characteristic for assessing water and nutrient absorption by plants. In our current investigation, a significant disparity was noted between the highest and lowest root volumes. Root volume

1 and 2- Graduated M.Sc. and Associate Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, respectively.
3- Associate Professor, Department of Agricultural and Horticultural Research, Kurdistan Province Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Kurdistan, Iran.
4- Associate Professor, Biotechnology Department of Natural Resources, Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Research Institute of Forests and Pastures of the Country, Iran.
* Corresponding Author: z.tahmasebi@ilam.ac.ir

stands out as one of the plant's key attributes for absorbing water and nutrients. In this research, line FLIP 82-150C had the highest and line FLIP97-706C had the lowest specific root length. The specific root length is one of the important traits in showing the efficiency of the root in absorbing water and resistance to drought. When faced with drought stress, the plant assigns more dry matter to the root system in order to increase the absorption ability of the roots; as a result, there are changes in the morphological characteristics of the roots, such as an increase in the specific length of the root. The highest root density was observed in line FLIP09-149C. root density is a trait that is affected by root weight and volume. In the condition of drought stress, the decrease in root volume caused an increase in root density and at the end of the growth period, the decrease in root dry weight was more than the decrease in its volume, which ultimately led to a decrease in root density. Studies have indicated that as humidity decreases and soil depth increases, there is a notable decrease in root density. Overall, the findings from this research offer foundational insights for advancing efforts to enhance root characteristics, thereby mitigating drought and enhancing the resilience of chickpea varieties to drought stress.

Conclusions
The results showed that Line FLIP07-20C had the highest root length, root length density and root water content compared to other lines, but none of the lines were superior in terms of all root traits. The obtained information about the characteristics of the roots of the studied lines can be used to improve drought-resistant chickpea lines.

Keywords: Drought stress, Root volume, Geometric structure, Root length

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 1, June 2024, pp. 23-37
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir/

پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۱، نیمهٔ اول ۱۴۰۳، ص. ۳۷-۲۳
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.80655.1051

بررسی تنوع ویژگی‌های ریشه در لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)

زهرا شکری[1]، زهرا طهماسبی[2]*، همایون کانونی[3]، علی اشرف مهرابی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳

چکیده

نخود یکی از مهم‌ترین حبوبات در ایران و در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. بخش مهمی از موفقیت تولید در مناطق دارای تنش خشکی به جذب مؤثر آب و عناصر غذایی توسط سیستم ریشه‌ای کارآمد وابسته است. مطالب زیادی در ارتباط با تیپ مطلوب گیاهی و ساختار هندسی گیاه به رشته تحریر درآمده است، امّا اطلاعات در مورد رشد و نمو ریشه بسیار اندک است. به‌منظور ارزیابی صفات ریشه ۳۹ لاین نخود، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام شد. پس از گذشت ۳۰ روز از سبز شدن بذور، ۱۶ ویژگی ریشه اندازه‌گیری شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که ویژگی‌های ریشه دارای دامنه تنوع بالایی در بین لاین‌های نخود مورد مطالعه بودند. نتایج نشان داد که تفاوت زیادی بین بیشترین و کمترین حجم ریشه وجود دارد (۱۹و ۴/۴۳ سانتی‌مترمکعب). در میان لاین‌های مورد مطالعه، لاین FLIP07-20C بیشترین طول ریشه، تراکم طول ریشه و محتوای آب ریشه را دارا بود. لذا، می‌تواند ضمن استفاده از آب موجود در حجم وسیع‌تری از نیم‌رخ خاک، از عناصر غذایی بیشتری نیز در طول دوره رشد بهره‌مند گردد و در برابر شرایط تنش خشکی تحمل بهتری از خود بروز می‌دهد. از آنجا که حجم ریشه نیز از مهم‌ترین ویژگی‌های گیاه به‌منظور جذب آب و مواد غذایی است و نسبت حجم ریشه به اندام‌های هوایی می‌تواند یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پیش‌بینی‌شده برای میزان تنفس و جذب آب باشد، لاین FLIP07-31C با دارا بودن بیشترین حجم ریشه می‌تواند تحمل خوبی در برابر شرایط تنش خشکی داشته باشد. از داده‌های به‌دست‌آمده در مورد ویژگی‌های ریشه لاین‌های مورد مطالعه می‌توان به‌منظور اصلاح لاین‌های مقاوم به خشکی نخود استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، حجم ریشه، ساختار هندسی، طول ریشه

مقدمه

نخود یکی از مهم‌ترین حبوبات در دنیا محسوب می‌شود. اهمیت آن به‌علت داشتن پروتئین بالا (۲۳/۵ تا ۲۸/۹ درصد) در دانه است (Mafakheri et al., 2011). در ایران، نخود عمدتاً در نواحی خشک و نیمه‌خشک تولید می‌شود. متأسفانه یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده مقدار و پایداری عملکرد در این گیاه غنی از پروتئین، تنش خشکی آخر فصل است (Imtiaza, 2010). در واقع، از بین عوامل نامطلوب محیطی، تنش خشکی مهم‌ترین محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان در سرتاسر جهان می‌باشد (Ashraf & Harris, 2013).

نخود دارای سیستم ریشه‌ای مستقیم و عمیق بوده و دارای سه تا چهار ردیف مشخص ریشه‌های جانبی می‌باشد که به گیاه کمک می‌کند، رطوبت را از لایه‌های پایینی خاک جذب کرده و بنابراین، موجب رونق یافتن کشت و کار آن به‌صورت دیم شده است. سیستم ریشه نخود قوی بوده و در ریشه اصلی، انشعابات فرعی ظاهر می‌شوند که ریشه‌های جانبی را ایجاد می‌نمایند (Regan et al., 2001).

علی‌رغم نقش ضروری سیستم ریشه در رشد گیاه و تنوع بالای آن، چون روش‌های ارزیابی ریشه مشکل، زمان‌بر و در شرایط مزرعه با خطای زیادی همراه هستند، نسبت به اندام‌های هوایی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Manschadi et al., 2006).

ارتباط بین بخش زیرزمینی و بخش هوایی گیاه در مدیریت کشاورزی مهم است و به نظر می‌رسد، داشتن یک سیستم ریشه‌ای گسترده و قوی و بهبود صفات مورفولوژیک ریشه جزء اهداف اصلاحی بوده که در افزایش عملکرد نقش بسزایی داشته است. به‌علاوه جذب کارآمد آب توسط ریشه،

---

۱ و ۲- به‌ترتیب فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، کردستان، ایران.
۴- دانشیار، بخش زیست فناوری منابع طبیعی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ایران.
(*- نویسنده مسئول: z.tahmasebi@ilam.ac.ir)

یک ویژگی مهم برای تحمل به خشکی است. جذب آب توسط گیاه به اندازه ریشه (طول یا حجم)، فعالیت و توزیع آن در خاک بستگی دارد. بنابراین، به نظر می‌رسد، برای فهم بیشتر فرایندهای مقاومت گیاه و دستیابی به منابع ژنتیکی موردنیاز در برنامه‌های اصلاحی، ارزیابی صفات مورفولوژیک مرتبط با تحمل به خشکی، به‌ویژه صفات مربوط به ریشه گیاه، ضروری است (Huang & Gao, 2000).

نتایج بررسی صفات مورفولوژیک ریشه ۲۰ لاین نخود نشان داد که روند یکنواختی بین لاین‌های نخود از نظر صفات مربوط به ریشه وجود ندارد و یک لاین هرگز نتوانست برتری خود را از نظر یک صفت در طول دوره رشد حفظ نماید (Ganjeali et al., 2010). مقایسه رشد رقم زودرس با رقم نسبتاً دیررس نخود نشان داد که عمق بیشتر سیستم ریشه در اواخر رشد گیاه سبب تأخیر در پیری برگ‌ها می‌گردد (Sheldrake & Saxena, 1979). بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه ۱۰ لاین نخود نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر صفات ریشه بین لاین‌ها وجود دارد (Ganjeali et al., 2010). بیشترین تنوع ژنتیکی ۳۵ روز بعد از کاشت برای تراکم طول ریشه با توارث‌پذیری ۰/۵۱= h2 مشاهده شد (Kashiwagi et al., 2005). بررسی واکنش صفات ریشه ۱۰ لاین نخود، به تنش خشکی در مزرعه نشان داد که تنوع در آناتومی ریشه بین دو گروه نخود کابلی و دسی وجود دارد (Muriuki et al., 2020).

به‌طور کلی، در مورد تنوع ریشه بقولات، مطالعات کمی انجام شده است و لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی تنوع صفات مورفولوژیک ریشه لاین‌های نخود به‌منظور استفاده از این صفات به‌عنوان معیارهایی برای گزینش لاین‌های نخود متحمل به خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی این آزمایش شامل ۳۹ لاین نخود (جدول ۱) با منشأ ایکاردا بود که از مرکز تحقیقات کردستان تهیه شد. آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی و با چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام اجرا شد.

در این آزمایش، کاشت بذور در لوله‌های PVC به‌قطر ۱۰ سانتی‌متر و طول ۶۰ سانتی‌متر صورت گرفت. به‌منظور سهولت مطالعه ریشه از نظر جمع‌آوری، شستشو و اندازه‌گیری صفات مربوط به آن، از ماسه بادی به‌عنوان بستر کاشت و از محلول غذایی هوگلند برای تغذیه گیاهچه‌ها استفاده شد. در گلخانه درجه حرارت تحت کنترل و دارای متوسط دمای ۵±۲۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط رطوبت ۷۰ درصد بود و گیاهان در شرایط نور طبیعی رشد کردند. آبیاری به‌صورت دو بار در هفته انجام شد. پس از گذشت ۳۵ روز از سبز شدن بذور، بر اساس افزایش طول ریشه نخود در دوره رشد آن (Chen et al., 2017) اندازه‌گیری صفات انجام شد. برای این منظور، ابتدا قسمت‌های هوایی توسط قیچی برداشت شد، سپس جداسازی ریشه‌ها از بستر ماسه بادی توسط آب تحت فشار با دقت زیاد صورت گرفت. پس از جدا کردن ریشه‌ها از داخل لوله‌های PVC، بلافاصله آن‌ها را به آزمایشگاه منتقل و در داخل یخچال با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس، اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه انجام گردید.

صفات مورد مطالعه

طول ریشه: طول ریشه پس از قرار دادن ریشه‌ها در داخل آب به‌منظور شناور شدن آن‌ها، توسط خط‌کش اندازه‌گیری شد.

وزن تر ریشه: پس از جدا کردن قسمت‌های هوایی گیاه، اقدام به شستشوی ریشه و انتقال ریشه‌ها به داخل آزمایشگاه، وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم اندازه‌گیری شد (Akhavan et al., 2012).

وزن خشک ریشه: پس از اندازه‌گیری صفات مربوط به ریشه، ریشه‌های مورد آزمایش در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت، سپس توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم وزن شدند (Ramamoorthy et al., 2017).

جدول ۱- لیست لاین‌های مورد استفاده

Table 1- The list of chickpea lines

شماره ردیف NO.	نام لاین Line Name	شجره‌نامه Pedigree
1	FLIP97-706C	X04TH62/X03TH-130XFLIP97-116
2	FLIP03-77C	X04TH65/X03TH-133XFLIP96-154
3	FLIP03-130C	X04TH65/X03TH-133XFLIP96-154
4	FLIP06-158C	X04TH65/X03TH-133XFLIP96-154
5	FLIP07-19C	X04TH66/X03TH-134XFLIP97-116
6	FLIP07-20C	X04TH66/X03TH-134XFLIP97-116
7	FLIP07-22C	X04TH66/X03TH-134XFLIP97-116
8	FLIP07-28C	X04TH67/X03TH-135XFLIP99-34
9	FLIP07-31C	X04TH67/X03TH-135XFLIP99-34
10	FLIP07-44C	X04TH76/X03TH-144XFLIP97-116
11	FLIP07-239C	X04TH77/X03TH-145XFLIP99-34
12	FLIP07-261C	X04TH79/X03TH-147XFLIP96-154
13	FLIP07-280C	X04TH110/X03TH-178XFLIP97-116
14	FLIP08-46C	X04TH110/X03TH-178XFLIP97-116
5	FLIP08-200C	X04TH114/X03TH-182XFLIP97-116
16	FLIP09-70C	X04TH115/X03TH-183XFLIP99-34
17	FLIP09-81C	X04TH117/X03TH-185XFLIP96-154
18	FLIP09-85C	X04TH123/FLIP97-205XFLIP97-116
19	FLIP09-90C	X04TH124/FLIP97-229XFLIP99-34
20	FLIP09-98C	X04TH126/FLIP98-229XFLIP96-154
21	FLIP09-148C	X04TH129/FLIP98-233XFLIP99-48
22	FLIP09-149C	X05TH7/X04TH-126XFLIP01-18
23	FLIP09-189C	X05TH106/FLIP97-131XFLIP00-14
24	FLIP09-191C	X05TH106/FLIP97-131XFLIP00-14
25	FLIP09-192C	X05TH106/FLIP97-131XFLIP00-14
26	FLIP09-194C	X05TH106/FLIP97-131XFLIP00-14
27	FLIP09-214C	X05TH131/FLIP97-118XFLIP00-17
28	FLIP09-216C	X05TH152/FLIP98-107XUC27
29	FLIP09-218C	X04TH31/X03TH-31XFLIP97-116
30	FLIP09-219C	X06TH100/FLIP02-47XFLIP98-230
31	ILC482	ILC482
32	FLIP 82-150C	X79TH101/ILC 523 X ILC 183
33	FLIP88-85C	X85 TH143/ILC 629 x FLIP 82-144C
34	FLIP93-93C	X89TH258/ (FLIP 85-122CXFLIP 82-150C)/FLIP 86-77C
35	FLIP07-180C	X04TH12/X03TH-12XFLIP99-48
36	FLIP09-88C	X04TH40/X03TH-40XFLIP99-34
37	FLIP09-115C	X04TH50/X03TH-50XFLIP99-34
38	FLIP09-337C	X04TH53/X03TH-53XFLIP97-116
39	FLIP09-386C	X04TH59/X03TH-59XFLIP99-48

حجم ریشه: محاسبه حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق معادله ۱ انجام گرفت:

معادله (۱) A=B-C

که در آن، A: حجم ریشه، B: حجم آب و ریشه و C: حجم آب خالی است.

وزن خشک اندام هوایی: قسمت‌های هوایی گیاه، در داخل آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت گذاشته شد و سپس توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم گرم وزن گردید (Ramamoorthy et al., 2017).

سطح ریشه: سطح ریشه از طریق معادله ۲ محاسبه گردید (Akhavan et al., 2012).

معادله (۲) $RA = 2 \times SQRT\langle RV \times 3.14 \times RL \rangle$

که در آن، RA: سطح ریشه، RV: حجم ریشه، RL: طول ریشه و SQRT: ریشه دوم است.

شادابی ریشه: شادابی ریشه از طریق معادله ۳ محاسبه گردید (Hajabbasi, 2001).

$$RF = \frac{RL}{RV}$$ معادله (۳)

که در آن، RF: شادابی ریشه، RL: طول ریشه و RV: حجم ریشه است.

قطر ریشه: قطر ریشه به‌صورت معادله ۴ محاسبه گردید (Schenk & Barber, 1979).

$$Rd = SQRT\frac{\langle 4 \times FRW \rangle}{\langle RL \times 3.14 \rangle}$$ معادله (۴)

که در آن، Rd: قطر ریشه، FRW: وزن تر ریشه، RL: طول ریشه و SQRT: ریشه دوم است.

طول مخصوص ریشه: محاسبه طول مخصوص ریشه به‌صورت معادله ۵ انجام گرفت (Mahanta et al., 2014).

$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$ معادله (۵)

که در آن، SRL: طول مخصوص ریشه، RL: طول ریشه و DRW: وزن خشک ریشه است.

محتوای آب ریشه: محتوای آب ریشه به‌صورت معادله ۶ محاسبه گردید (Schenk & Barber, 1979).

$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$ معادله (۶)

که در آن، RWC: محتوای آب ریشه، FRW: وزن تر ریشه و DRW: وزن خشک ریشه است.

تراکم طول ریشه: تراکم طول ریشه از طریق معادله ۷ به‌دست آمد (Mahanta et al., 2014).

$$RLD = \frac{RL}{SV}$$ معادله (۷)

که در آن، RLD: تراکم طول ریشه، RL: طول ریشه و SV: حجم خاک است.

حجم مخصوص ریشه: حجم مخصوص ریشه از طریق معادله ۸ به‌دست آمد (Hasanabadi et al., 2010).

$$SRV = \frac{RDW}{SV}$$ معادله (۸)

که در آن، SRV: حجم مخصوص ریشه، RDW: وزن خشک ریشه و SV: حجم خاک است.

تراکم بافت ریشه: تراکم بافت ریشه به‌صورت معادله ۹ محاسبه گردید (Mahanta et al., 2014).

$$RTD = RDW \times RV$$ معادله (۹)

که در آن، RTD: تراکم بافت ریشه، RDW: وزن خشک ریشه و RV: حجم ریشه است.

تراکم حجم ریشه: تراکم حجم ریشه به‌صورت معادله ۱۰ محاسبه گردید (Hajabbasi, 2001).

$$RVD = \frac{FRW}{SV}$$ معادله (۱۰)

که در آن، RVD: تراکم حجم ریشه، FRW: وزن تر ریشه و SV: حجم خاک است.

چگالی سطح ریشه: چگالی سطح ریشه به‌صورت معادله ۱۱ محاسبه گردید (Akhavan et al., 2012).

$$RAD = RL \times RD \times 3.14$$ معادله (۱۱)

که در آن، RAD: چگالی سطح ریشه، RL: طول ریشه و RD: قطر ریشه است.

چگالی ریشه: چگالی ریشه به‌صورت معادله ۱۲ محاسبه گردید (Akhavan et al., 2012).

$$RD = \frac{RDW}{RV}$$ معادله (۱۲)

که در آن، RD: چگالی ریشه، RDW: وزن خشک ریشه و RV: حجم ریشه است.

تجزیه واریانس صفات و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گردید.

نتایج و بحث

طول ریشه: لاین‌های مورد مطالعه از نظر طول ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). اختلاف بین بیشترین و کمترین میانگین طول ریشه ۳۸/۲۵ سانتی‌متر بود (جدول ۳). حداکثر عمق و طول ریشه در نخود یک صفت ژنتیکی است که محیط می‌تواند آن را محدود سازد، در این آزمایش، به نظر می‌رسد که ژنوتیپ FLIP07-20C با داشتن طول ریشه بیشتر و نفوذ در اعماق خاک، در حجم وسیع‌تری از آب موجود در لایه‌های پایینی پروفیل خاک و همچنین عناصر غذایی بیشتری در طول دوره رشد بهره‌مند گردد. طول ریشه از مهم‌ترین صفات در روند رشد گیاه است. پژوهشگران بر این باورند که طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین صفت به‌منظور ارزیابی جذب عناصر و آب خاک توسط گیاه است (Eshghizadeh et al., 2012). طول ریشه از مهم‌ترین صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک تحمل به خشکی است، معمولاً ارقامی که طول ریشه بیشتری دارند، سریع‌تر از ارقام با طول ریشه کوتاه‌تر، جوانه می‌زنند و به خشکی مقاوم‌تر هستند (Akhavan et al., 2012). مطالعه گنجعلی و همکاران (Ganjeali et al., 2010) بر روی صفات ریشه ۱۰ ژنوتیپ نخود نشان داد که تنوع بالایی از نظر طول ریشه بین

ژنوتیپ‌های نخود وجود دارد که بیشترین میزان طول ریشه ۸۰/۷ سانتی‌متر و کمترین طول ریشه ۲۸/۲ سانتی‌متر گزارش شده است. در مطالعه دیگری، بررسی صفات ریشه نخود نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها تغییرات ژنتیکی وجود دارد (Serraj et al., 2004).

وزن خشک ریشه: وزن خشک ریشه از مهم‌ترین صفات به‌منظور ارزیابی ژنوتیپ‌ها محسوب می‌شود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس صفات ریشه، لاین‌های مورد مطالعه از نظر وزن خشک ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). اختلاف بین بیشترین و کمترین میانگین وزن خشک ریشه ۲/۶ گرم به‌دست آمد (جدول ۳).

رشد و گسترش ریشه گیاهان درخاک از اهمیت ویژه‌ای در تولید محصولات کشاورزی برخوردار است (Manschadi et al., 2006) به این دلیل که ارتباط گیاه با عناصر غذایی و آب و جذب آن از طریق ریشه صورت می‌گیرد (Pedersen et al., 2009). در بررسی صفات مربوط به ریشه بیان شد که وزن خشک ریشه با صفات طول ریشه و حجم ریشه همبستگی معناداری دارد (Ganjeali et al., 2010). نتایج پژوهش بر روی ریشه ۱۱ ژنوتیپ نخود مشخص کرد که این ژنوتیپ‌ها از نظر وزن خشک ریشه با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (Ganjeali & Bagheri, 2010). بررسی به‌منظور یافتن ارقام مقاوم به خشکی در مرحله گیاهچه‌ای، نشان داد که ارقام مقاوم به تنش خشکی، طول و وزن خشک ریشه بیشتری دارند (Muriuki et al., 2020).

وزن تر ریشه: لاین‌های مورد مطالعه از نظر وزن تر ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). وجود اختلاف معنی‌دار در بین ژنوتیپ‌ها از نظر وزن تر ریشه، نشان از اختلاف ژنتیکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این پژوهش دارد. سیستم ریشه‌ای به‌دلیل اینکه به آب نزدیک است، به‌عنوان اولین حسگر نسبت به تنش خشکی محسوب می‌شود (Serraj et al., 2004). بررسی اثرات توسعه ریشه در ارتباط با تحمل به خشکی در چهار رقم گندم (*Triticum aestivum* L.) نشان داد که ارقام مورد مطالعه از نظر صفات طول ریشه، وزن خشک ریشه، حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار دارند (Purushothaman et al., 2017).

حجم ریشه: حجم ریشه از نظر جذب آب و مواد غذایی از مهم‌ترین صفات محسوب می‌شود، بنابراین واحد اندازه‌گیری خوبی برای روابط بین ریشه و اندام‌های هوایی می‌باشد (Ganjeali et al., 2010). لاین‌های مورد مطالعه از نظر حجم ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). اختلاف بین بیشترین و کمترین میانگین حجم ریشه ۱۴/۵۷ سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس نظر برخی پژوهشگران، توانایی یک رقم در رشد و مراحل اولیه رشد از عوامل محیطی تأثیر می‌گیرد به عبارتی، گیاه برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد، ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه اختصاص می‌دهد، در نتیجه، باعث تغییراتی در خصوصیات مورفولوژیک ریشه مانند حجم و طول ریشه می‌شود (Coohi chelecaran et al., 2015). تأثیر تنش خشکی بر ارقام گندم نشان داد که سیستم مطلوب ریشه، موجب جذب آب بیشتر و تولید اندام هوایی بیشتر می‌شود، به‌طوری‌که حجم ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن اندام هوایی و مقدار جذب آب دارد. با مواجه شدن با تنش خشکی، ژنوتیپ‌های متحمل، حجم ریشه بیشتری را نسبت به ژنوتیپ‌های حساس تولید کردند (Meskini-Vishkaee et al., 2016).

محتوای آب ریشه: لاین‌های مورد مطالعه از نظر محتوای آب ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). جذب آب توسط گیاه به اندازه ریشه مانند وزن و طول ریشه و توزیع و فعالیت ریشه در خاک بستگی دارد، بنابراین برای درک بیشتر مفاهیم سازوکارهای مقاومت و یافتن منابع ژنتیکی مورد نیاز برنامه‌های اصلاحی، درک صفات ریشه که با مقاومت به خشکی مرتبط هستند مانند محتوای آب ریشه ضروری است (Ganjeali et al., 2010).

حجم مخصوص ریشه: در این آزمایش در بین لاین‌های مورد بررسی از نظر صفت حجم مخصوص ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۳). بیشترین حجم مخصوص ریشه در لاین FLIP09-192C به‌دست آمد و لاین ILC482 نیز دارای کمترین حجم مخصوص ریشه بود. بررسی رابطه صفات ریشه و عملکرد دانه گندم نشان داد که بین ژنوتیپ‌های گندم در تمام صفات ریشه اختلاف معنی‌داری وجود دارد (Manschadi et al., 2006).

تراکم بافت ریشه: در این آزمایش، در بین لاین‌های مورد بررسی از نظر صفت تراکم بافت ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان تراکم بافت ریشه به‌ترتیب در لاین‌های FLIP07-31C و ILC482 به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی ریشه ۳۹ لاین نخود

Table 2- Analysis of variance of root morphological traits in 39 chickpea lines

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares								
		RTD	**RWC**	**SRL**	**RF**	**LDW**	**RDW**	**RFW**	**RV**	**RL**
ژنوتیپ Genotype	39	387**	30.6**	4018**	10.7**	0.690**	1.26**	48.6**	40.7**	399**
خطای آزمایشی Experimental error	113	16.6	2.97	73.5	0.840	0.030	0.040	2.97	2.90	7.95

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** Significant at 1% probability level

RTD: تراکم بافت ریشه، RWC: محتوای آب ریشه، SRL: طول مخصوص ریشه، RF: شادابی ریشه، LDW: وزن خشک اندام هوایی، RDW: وزن خشک ریشه، RFW: وزن تر ریشه، RV: حجم ریشه، RL: طول ریشه.

RTD: root tissue density, RWC: root water content, SRL: root length specific, RF: root flavor, LDW: leaf dry weight, RDW: root dry weight, RFW: root fresh weight, RV: root volume, RL: root length.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی ریشه ۳۹ لاین نخود

Table 2- Analysis of variance of root morphological traits in 39 chickpea lines, Continued

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		RAD	**RVD**	**SRV**	**RLD**	**Rd**	**RA**	**RD**
ژنوتیپ Genotype	39	1308**	0.0001**	0.000004**	0.001**	0.027**	1193**	0.005**
خطای آزمایشی Experimental error	113	54.5	0.00001**	0.0000001	0.00002	0.001	55.1	0.0007

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

** Significant at 1% probability level.

RAD: چگالی سطح ریشه، RVD: تراکم حجم ریشه، SRV: حجم مخصوص ریشه، RLD: تراکم طول ریشه،RD: چگالی ریشه، RA: سطح ریشه، Rd: قطر ریشه.

RAD: root area density, RVD: root volume density, SRV: specific root volume, RLD: root length density, Rd: root diameter, RA: root area, RD: root density.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی ریشه ۳۹ لاین نخود

Table 3- Mean comparisons of root morphological traits in 39 chickpea lines

شماره لاین Line number	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RWC	5.43^{jk*}	9.52^{e-g}	8.17^{f-j}	6.87^{g-k}	7.29^{g-k}	16.5^{a}	6.15^{h-k}	5.78^{jk}	4.44^{k}	6.04^{jk}	7.27^{g-k}	5.59^{jk}	7.61^{f-j}	8.95^{f-i}	5.69^{jk}
SRL	19^{k}	53f^{g}	39.3^{G-i}	30.4^{h-k}	61^{ef}	115^{bc}	35.2^{h-j}	64.4^{ef}	23.3^{jk}	25.6^{i-k}	30.8^{h-k}	37.1^{h-j}	36.9^{h-j}	37.2^{h-j}	26.2^{i-k}
RF	2.54^{m}	3.81^{g-m}	3.72^{g-m}	3.43^{h-m}	6.55^{c-e}	5.08^{e-h}	3.10^{k-m}	6.83^{cd}	3.28^{k-m}	4.36^{g-l}	3.99^{g-m}	4.77^{f-k}	4.96^{e-j}	5.38^{d-g}	3.16^{k-m}
LDW	0.590^{l-o}	0.410^{no}	0.580^{l-o}	0.830^{h-l}	0.440^{m-o}	0.650^{k-n}	0.880^{g-l}	0.300^{o}	1.65^{ab}	0.990^{f-k}	1.40^{b-e}	1.19^{e-g}	0.800^{h-l}	0.400^{no}	1.12^{e-h}
RDW	1.79^{c-e}	0.700^{m-p}	11^{j-m}	1.300^{g-j}	0.680^{m-p}	0.600^{n-q}	1.18^{h-k}	0.460^{o-q}	2.59^{b}	2.04^{c}	1.83^{cd}	1.33^{f-j}	1.55^{d-h}	0.910^{k-n}	2.11^{c}
RFW	11.5^{e-j}	7.47^{k}	9.21^{jk}	10.3^{h-k}	5.70^{lm}	10.4^{h-k}	8.47^{jk}	3.18^{m}	14.2^{b-e}	14.4^{b-e}	15.1^{b-d}	8.81^{jk}	13.1^{d-h}	9.13^{jk}	14.1^{b-f}
RV	13.5^{c-h}	10^{j-n}	10.6^{h-n}	11.8^{f-l}	6.66^{op}	13.5^{c-h}	13.5^{c-h}	4.43^{p}	19^{a}	12.3^{e-k}	14.2^{c-g}	10.3^{i-n}	11.6^{f-l}	6.75^{op}	17.6^{ab}
RL	34no	37.5^{l-n}	39.5^{lm}	39.7^{lm}	42^{Kl}	68.2^{a}	41.6^{Kl}	30^{o}	60.5^{b-d}	52.3^{g-i}	56.6^{d-g}	49.2^{hi}	56^{d-g}	33no	55.3^{e-g}
RVD	0.020^{b}	0.010^{c}	0.011^{c}	0.010^{c}	0.012^{c}	0.010^{c}	0.011^{c}	0.005^{d}	0.021^{b}	0.020^{b}	0.022^{b}	0.011^{c}	0.023^{b}	0.010^{c}	0.021^{b}
SRV	0.003^{c}	0.001^{e}	0.001^{e}	0.002^{d}	0.001^{e}	0.001^{e}	0.002^{d}	0.0008	0.004^{b}	0.003^{c}	0.003^{c}	0.002^{d}	0.002^{d}	0.001^{e}	0.003^{c}
RLD	0.060^{g}	0.061^{g}	0.070^{f}	0.072^{f}	0.073^{f}	0.120^{a}	0.070^{f}	0.050^{h}	0.110^{b}	0.090^{d}	0.101^{c}	0.091^{d}	0.100^{c}	0.060^{g}	0.101^{c}
Rd	0.650^{ab}	0.520^{e-k}	0.540^{e-g}	0.560^{c-i}	0.410^{pq}	0.430^{n-p}	0.500^{h-n}	0.360^{qr}	0.540^{e-j}	0.590^{b-f}	0.580^{b-g}	0.470^{j-p}	0.540^{e-j}	0.580^{b-g}	0.560^{c-i}
RA	75.7^{k-o}	68.5^{m-p}	72.7^{k-o}	76.7^{j-o}	59^{pq}	107^{b-d}	83.8^{h-l}	40.8^{s}	119^{a}	89.6^{f-j}	100^{b-f}	79.9^{i-m}	90.1^{f-i}	52.6^{qr}	110^{a-c}
RD	0.120^{c-j}	0.070^{k-n}	0.071^{k-n}	0.101^{g-m}	0.110^{f-l}	0.040^{n}	0.090^{g-m}	0.010^{g-m}	0.160^{b-e}	0.162^{a-c}	0.120^{c-j}	0.110^{d-l}	0.130^{b-i}	0.140^{b-g}	0.120^{c-j}
RTD	24.2^{cd}	7.13^{m-q}	10.7^{i-o}	15.7^{g-j}	4.61^{o-q}	8.13^{l-q}	15.9^{f-i}	2.11^{pq}	49.5^{a}	25.3^{c}	26.2^{c}	13.7^{h-m}	17.9^{d-i}	6.34^{n-q}	37.1^{b}
RAD	70^{i-m}	59.2^{m-o}	67.5^{j-m}	71.7^{i-m}	54.8^{no}	94.3^{c-f}	66.4^{k-n}	34.6^{p}	103^{b-d}	97.2^{c-e}	103^{b-d}	73.4^{i-l}	96^{c-e}	61.7^{l-n}	98.9^{b-e}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

* In each column means with at least a similar letter have not significant difference at 5% level.

RAD: چگالی سطح ریشه، RVD: تراکم حجم ریشه، SRV: حجم مخصوص ریشه، RLD: تراکم طول ریشه، RD: چگالی ریشه، RA: سطح ریشه، Rd: قطر ریشه. RTD: تراکم بافت ریشه، RWC: محتوای آب ریشه، SRL: طول مخصوص ریشه، RF: شادابی ریشه، LDW: وزن خشک اندام هوایی، RDW: وزن خشک ریشه، RFW: وزن تر ریشه، RV: حجم ریشه، RL: طول ریشه.

RWC: root water content; SRL: root length specific; RF: root flavor; LDW: leaf dry weight; RDW: root dry weight; RFW: root fresh weight; RV: root volume; RL: root length; RVD: root volume density; SRV: specific root volume; RLD: root length density; Rd: root diameter; RA: root area; RD: root density; RTD: root tissue density; RAD: root area density.

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی ریشه ۳۹ لاین نخود

Table 3- Mean comparisons of root morphological traits in 39 chickpea lines, Continued

شماره لاین Line number	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹
RWC	6.26 $^{h-k*}$	12.7 ^{cd}	6.10 $^{h-k}$	8.51 $^{f-j}$	6.36 $^{h-k}$	5.73 ^{jk}	8.98 $^{f-i}$	6.75 $^{g-k}$	6.20 $^{h-k}$	6.25 $^{h-k}$	8.37 $^{f-j}$	9.25 $^{f-h}$	8.55 $^{f-j}$	10.6 $^{d-f}$
SRL	34.7 $^{h-j}$	67.8 ^{de}	22.5 ^{jk}	65.1 ^{ef}	31.3 $^{h-k}$	32.6 $^{h-k}$	37.5 $^{h-j}$	39.5 $^{g-i}$	37.2 $^{h-j}$	19.5 ^{k}	37.6 $^{h-j}$	36.3 $^{h-j}$	37.8 $^{h-j}$	36.8 $^{h-j}$
RF	4.71 $^{g-l}$	3.39 $^{i-m}$	3.54 $^{h-m}$	4.78 $^{f-k}$	4.59 $^{g-l}$	5.40 $^{d-g}$	7.56 ^{bc}	5.02 $^{e-i}$	5.01 $^{g-l}$	4.42 $^{g-l}$	4.22 $^{g-l}$	3.30 $^{j-m}$	6.33 $^{c-f}$	3.39 $^{i-m}$
LDW	0.770 $^{i-m}$	0.590 $^{l-o}$	1.07 $^{f-i}$	0.550 $^{l-o}$	1.25 $^{d-f}$	1.05 $^{f-j}$	1.28 $^{c-f}$	0.660 $^{k-n}$	1.22 ^{ef}	1.89 ^{a}	1.03 $^{f-j}$	0.590 $^{l-o}$	1.43 $^{b-e}$	1.61 ^{ab}
RDW	1.42 $^{f-h}$	0.650 $^{n-p}$	1.53 $^{d-h}$	0.910 $^{k-n}$	1.36 $^{f-i}$	1.82 ^{cd}	1.56 $^{d-g}$	1.30 $^{g-j}$	1.58 $^{d-g}$	2.93 ^{a}	1.64 $^{d-g}$	1.39 $^{e-h}$	1.51 $^{d-h}$	1.47 $^{d-h}$
RFW	10.3 $^{h-k}$	9.02 ^{jk}	10.9 $^{g-j}$	8.72 ^{jk}	10.1 $^{h-k}$	12.3 $^{d-i}$	15 $^{b-d}$	9.84 $^{i-k}$	11.2 $^{f-j}$	21.2 ^{a}	14.6 $^{b-d}$	14.2 $^{b-e}$	14.3 $^{b-e}$	16.9 ^{b}
RV	10.5 $^{h-n}$	13.1 $^{c-i}$	10 $^{j-n}$	12.6 $^{d-j}$	9.25 $^{l-o}$	11.2 $^{g-m}$	8 ^{no}	9.83 $^{j-n}$	0.330 $^{g-m}$	12.6 $^{d-j}$	13.8 $^{c-g}$	15.5 $^{b-d}$	9 $^{l-o}$	16 ^{bc}
RL	49.2 ^{hi}	44.5 ^{jk}	36.6 ^{n}	59 $^{b-e}$	42.2 ^{kl}	59 $^{b-e}$	56.2 $^{d-g}$	49.4 ^{hi}	57.2 $^{c-f}$	56 $^{d-g}$	57.7 $^{c-f}$	50.5 ^{hi}	56.6 $^{d-g}$	53.8 $^{f-h}$
RVD	0.011 ^{c}	0.010 ^{c}	0.023 ^{b}	0.014 ^{c}	0.015 ^{c}	0.020 ^{b}	0.020 ^{b}	0.010 ^{c}	0.021 ^{b}	0.030 ^{a}	0.022 ^{b}	0.023 ^{b}	0.021 ^{b}	0.030 ^{a}
SRV	0.002 ^{d}	0.001 ^{e}	0.002 ^{d}	0.001 ^{e}	0.002 ^{d}	0.003 ^{c}	0.002 ^{d}	0.002 ^{d}	0.002 ^{d}	0.005 ^{a}	0.003 ^{c}	0.002 ^{d}	0.002 ^{d}	0.002 ^{d}
RLD	0.092 ^{d}	0.081 ^{e}	0.060 ^{g}	0.102 ^{c}	0.070 ^{f}	0.100 ^{c}	0.100 ^{c}	0.090 ^{d}	0.101 ^{c}	0.103 ^{c}	0.102 ^{c}	0.090 ^{d}	0.102 ^{c}	0.090 ^{d}
Rd	0.520 $^{f-l}$	0.500 $^{h-n}$	0.630 $^{a-d}$	0.430 $^{o-q}$	0.540 $^{e-j}$	0.510 $^{g-m}$	0.580 $^{c-h}$	0.490 $^{i-o}$	0.500 $^{i-o}$	0.690 ^{a}	0.560 $^{c-i}$	0.600 $^{b-f}$	0.560 $^{c-i}$	0.630 $^{a-d}$
RA	80.5 $^{i-m}$	85.7 $^{g-k}$	65.7 $^{n-p}$	96.5 $^{d-h}$	90.9 $^{f-i}$	90.9 $^{f-i}$	74.6 $^{k-o}$	78 $^{i-n}$	90 $^{f-i}$	94.3 $^{e-h}$	99.8 $^{c-f}$	99 $^{c-f}$	79.9 $^{i-m}$	103 $^{b-e}$
RD	0.120 $^{c-j}$	0.050 ^{n}	0.013 $^{b-i}$	0.070 $^{k-n}$	0.160 $^{a-d}$	0.160 $^{a-d}$	0.200 ^{a}	0.110 $^{d-l}$	0.140 $^{b-h}$	0.200 ^{a}	0.120 $^{c-k}$	0.090 $^{i-n}$	0.170 ^{ab}	0.090 $^{i-n}$
RTD	15 $^{g-l}$	8.68 $^{j-p}$	15.4 $^{g-j}$	11.6 $^{i-n}$	21 $^{c-g}$	21 $^{c-g}$	12.7 $^{i-n}$	12.8 $^{i-n}$	17.9 $^{d-i}$	37.2 ^{b}	23.2 $^{c-e}$	21.6 $^{c-g}$	13.6 $^{h-m}$	23.5 $^{c-e}$
RAD	79.8 $^{g-j}$	79.8 $^{g-j}$	68.7 $^{j-m}$	80.2 $^{g-j}$	73 $^{i-l}$	95.4 $^{c-e}$	102 $^{b-d}$	77.9 $^{h-k}$	89.7 $^{e-h}$	122 ^{a}	102 $^{b-d}$	95 $^{c-f}$	100 $^{b-e}$	106 ^{bc}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

* In each column means with at least a similar letter have not significant difference at 5% level.

RAD: چگالی سطح ریشه، RVD: تراکم حجم ریشه، SRV: حجم مخصوص ریشه، RLD: تراکم طول ریشه، RD : چگالی ریشه، RA: سطح ریشه، Rd: قطر ریشه. RTD: تراکم بافت ریشه، RWC: محتوای آب ریشه، SRL: طول مخصوص ریشه، RF: شادابی ریشه، LDW: وزن خشک اندام هوایی، RDW: وزن خشک ریشه، RFW: وزن تر ریشه، RV: حجم ریشه، RL: طول ریشه.

RWC: root water content; SRL: root length specific; RF: root flavor; LDW: leaf dry weight; RDW: root dry weight; RFW: root fresh weight; RV: root volume; RL: root length; RVD: root volume density; SRV: specific root volume; RLD: root length density; Rd: root diameter; RA: root area; RD: root density; RTD: root tissue density; RAD: root area density.

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی ریشه ۳۹ لاین نخود

Table 3- Mean comparisons of root morphological traits in 39 chickpea lines, Continued

شماره لاین Line number	۳۰	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹
RWC	7.58^{f-k*}	15.6^{ab}	13.5^{bc}	8.37^{f-j}	5.46^{jk}	6^{i-k}	9.06^{f-i}	6.36^{h-k}	5.45^{jk}	12^{c-e}
SRL	26.3^{i-k}	125^{b}	166^{a}	107^{c}	22.7^{jk}	39.5^{g-i}	40.5^{g-i}	45^{gh}	40.6^{g-i}	79.1^{d}
RF	3.82^{g-m}	8.37^{b}	7.31^{bc}	10.8^{a}	4.06^{g-m}	4.77^{f-k}	3.76^{g-m}	4.54^{g-l}	4.77^{f-k}	6.38^{c-f}
LDW	0.690^{k-n}	0.300^{o}	0.410^{no}	0.300^{o}	1.59^{a-c}	0.690^{k-n}	1.55^{b-d}	0.78^{i-l}	0.82^{h-l}	0.72^{j-n}
RDW	1.35^{f-i}	0.300^{q}	0.380^{pq}	0.590^{n-q}	2.63^{ab}	1.46^{e-h}	1.05^{i-l}	1.53^{d-h}	1.54^{d-h}	0.81^{l-o}
RFW	11.2^{f-j}	5.03^{lm}	5.48^{lm}	5.65^{lm}	16.4^{bc}	9.86^{i-k}	10.4^{h-k}	11^{g-j}	9.96^{i-k}	10.4^{h-k}
RV	9.33^{k-o}	4.60^{p}	8.50^{m-o}	6.60^{op}	14.6^{c-f}	11.7^{f-l}	11.5^{g-m}	15^{b-e}	13.2^{c-i}	10^{j-n}
RL	35.5^{mn}	37.6^{l-n}	61.7^{bc}	63.6^{b}	59.5^{b-e}	55.2^{e-g}	42.2^{kl}	68^{a}	62.5^{b}	63.5^{b}
RVD	0.020^{b}	0.009^{e}	0.011^{c}	0.010^{c}	0.030^{a}	0.012^{c}	0.013^{c}	0.020^{b}	0.010^{c}	0.012^{c}
SRV	0.002^{d}	0.0005^{g}	0.0007^{f}	0.001^{e}	0.004^{b}	0.002^{d}	0.001^{e}	0.002^{d}	0.002^{d}	0.001^{e}
RLD	0.060^{g}	0.061^{g}	0.110^{b}	0.112^{b}	0.113^{b}	0.101^{c}	0.070^{f}	0.120^{a}	0.110^{b}	0.111^{b}
Rd	0.630^{a-c}	0.410^{pq}	0.330^{r}	0.330^{r}	0.590^{b-f}	0.470^{j-p}	0.560^{d-i}	0.450^{l-p}	0.440^{m-p}	0.450^{k-p}
RA	64.40^{p}	46.4^{rs}	81.1^{i-m}	72.1^{l-o}	104^{b-e}	90^{f-i}	77.8^{i-n}	113^{ab}	101^{b-f}	89.2^{f-j}
RD	0.150^{b-f}	0.060^{mn}	0.040^{n}	0.100^{g-m}	0.180^{ab}	0.120^{c-k}	0.090^{h-n}	0.090^{h-n}	0.110^{d-l}	0.070^{j-n}
RTD	12.7^{i-n}	1.42^{q}	3.30^{pq}	3.96^{o-q}	38.5^{b}	16.8^{e-i}	11.9^{i-n}	22.9^{c-f}	20.4^{c-h}	22.8^{k-q}
RAD	70.4^{i-m}	48.4^{o}	65^{k-n}	66.8^{k-n}	111^{b}	72.7^{f-i}	74.4^{i-l}	97.1^{c-e}	88^{e-h}	91.2^{d-g}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح پنج درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

* In each column means with at least a similar letter have not significant difference at 5% level.

RAD: چگالی سطح ریشه، RVD: تراکم حجم ریشه، SRV: حجم مخصوص ریشه، RLD: تراکم طول ریشه، RD : چگالی ریشه، RA: سطح ریشه، Rd: قطر ریشه. RTD: تراکم بافت ریشه، RWC: محتوای آب ریشه، SRL: طول مخصوص ریشه، RF: شادابی ریشه، LDW: وزن خشک اندام هوایی، RDW: وزن خشک ریشه، RFW: وزن تر ریشه، RV: حجم ریشه، RL: طول ریشه.

RWC: root water content; SRL: root length specific; RF: root flavor; LDW: leaf dry weight; RDW: root dry weight; RFW: root fresh weight; RV: root volume; RL: root length; RVD: root volume density; SRV: specific root volume; RLD: root length density; Rd: root diameter; RA: root area; RD: root density; RTD: root tissue density; RAD: root area density.

سطح ریشه: صفت سطح ریشه از خصوصیات مهم برای جذب آب و عناصر غذایی در گیاه است. ریشه‌های گسترده از راه افزایش جذب آب و افزایش تعرق در افزایش عملکرد دانه مؤثر هستند (Ganjeali et al., 2010). در این آزمایش، لاین‌های مورد مطالعه از نظر سطح ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). گنجعلی و کافی (Ganjeali & Kafi, 2007) گزارش کردند که سطح ریشه در گیاهان زراعی می‌تواند به‌دلیل سطح تماس گیاه با خاک باشد و هر چه سطح ریشه بیشتر باشد، دسترسی به آب نیز بیشتر است. سراج و همکاران (Serraj et al., 2004) نشان دادند که با افزایش سطح ریشه کارایی جذب عناصر غذایی و آب نیز افزایش می‌یابد. گنجعلی و باقری (Ganjeali & Bagheri, 2010) با بررسی جنبه‌های فیزیومورفولوژیک مقاومت به خشکی در ژنوتیپ‌های نخود دریافت که سایر صفات مربوط به ریشه عمدتاً متأثر از مجموع طول ریشه‌ها است. از طرفی، چون طول ریشه اصلی از جهت بهره‌برداری ریشه از رطوبت و عناصر غذایی موجود در افق‌های متفاوت خاک مورد توجه است، بنابراین صفت طول ریشه می‌تواند به‌عنوان یک معیار مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

طول مخصوص ریشه: لاین‌های مورد مطالعه از نظر طول مخصوص ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). گیاه زمانی که با تنش خشکی مواجه می‌شود، برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد، ماده خشک بیشتری را به ریشه اختصاص می‌دهد که باعث تغییراتی در خصوصیات صفات ریشه مانند طول مخصوص ریشه و طول ریشه می‌شود (Shaaban et al., 2012). در زمینه صفات ریشه برخی از پژوهشگران معتقدند که اندازه‌گیری تراکم و طول ریشه بهتر از اندازه‌گیری توزیع وزن ریشه در خاک است (Musters & Bouten, 2000).

قطر ریشه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس در این آزمایش، در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از نظر قطر ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). افزایش قطر ریشه بر تحمل تنش خشکی و کارایی مصرف آب مؤثر می‌باشد، به این دلیل که ریشه‌هایی که قطر بیشتری دارند از آوندهای چوبی بزرگ‌تری برخوردارند و از این راه، باعث افزایش جذب آب از لایه‌های زیرین خاک می‌شوند (Manschadi et al., 2006).

تراکم طول ریشه: لاین‌های مورد مطالعه از نظر تراکم طول ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). تراکم طول ریشه یکی از صفات مهم مورفولوژیکی است که با جذب آب از خاک ارتباط مستقیم دارد، هر چه تراکم طولی ریشه بیشتر باشد، گیاه نسبت به تنش خشکی مقاوم‌تر می‌شود.

تراکم حجم ریشه: در این پژوهش، بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر تراکم حجم ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). بیشترین میزان تراکم حجم ریشه در لاین FLIP09-192C و کمترین میزان آن در لاین FLIP07-28C مشاهده گردید (جدول ۳).

شادابی ریشه: در این پژوهش، در بین لاین‌های مورد بررسی از نظر شادابی ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۲). بیشترین میزان شادابی ریشه در لاین FLIP88-85C و کمترین میزان آن در لاین FLIP97-706C مشاهده گردید (جدول ۳).

چگالی سطح ریشه: بر اساس جدول تجزیه واریانس، در بین لاین‌های مورد بررسی از نظر صفت چگالی سطح ریشه تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۲). در این پژوهش، لاین FLIP09-192C بیشترین و لاین FLIP07-28C کمترین چگالی سطح ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۳).

چگالی ریشه: لاین‌های مورد مطالعه از نظر صفت چگالی ریشه، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). اختلاف بین بیشترین و کمترین میانگین چگالی ریشه ۰/۱۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد (جدول ۳). چگالی ریشه، صفتی است که از حجم و وزن ریشه تأثیر می‌گیرد. در مطالعات مختلف گزارش شده که تنش‌های شوری و خشکی باعث کاهش چگالی ریشه می‌شود. رطوبت زیاد باعث افزایش چگالی ریشه می‌شود، به این دلیل که سیستم ریشه‌ای گسترش یافته و ریشه‌های فرعی برای جذب آب بیشتر ایجاد می‌شود (Meskini-Vishkaee et al., 2016). بررسی ریشه ۱۰ ژنوتیپ نخود نشان داد که این ارقام از نظر صفت چگالی ریشه اختلاف معنی‌داری با هم دارند (Ganjeali & Bagheri, 2010). شعبان و همکاران (Shaaban et al., 2012) در پژوهشی بر روی ریشه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) گزارش کردند که تنش شوری چگالی ریشه را کاهش داد، به این دلیل که با افزایش میزان شوری، رشد ریشه و گسترش ریشه‌های موئین به‌شدت کاهش می‌یابد، در نتیجه باعث کاهش زیاد وزن ریشه شده در نتیجه، چگالی ریشه کاهش می‌یابد.

وزن خشک اندام هوایی: لاین‌های مورد مطالعه از نظر وزن خشک اندام هوایی، تفاوت معنی‌داری با هم داشتند (جدول ۲). اختلاف بین بیشترین و کمترین میانگین وزن خشک اندام هوایی ۱/۳۵ گرم بود. وزن خشک اندام هوایی یکی از صفات اصلی در تجزیه رشد گیاه است که از میزان آب موجود در

محیط ریشه تأثیر می‌گیرد، در نتیجه تنش‌های خشکی و شوری بر این صفت اثر قابل توجهی دارند (Ganjeali et al., 2010). نتیجه پژوهش‌ها نشان داد که جذب کارآمد آب توسط ریشه یکی از مؤلفه‌های مهم برای تحمل به خشکی است، در نتیجه گیاهانی که در اوایل فصل رشد نسبت ریشه به اندام هوایی بیشتری دارند، در دوره‌های بعدی رشد از قابلیت بیشتری برای بهبود فتوسنتز برخوردارند (Ganjeali et al., 2010). در بررسی تنوع ژنتیکی شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) با استفاده از خصوصیات ریخت‌شناسی مشاهده شد که بین ژنوتیپ‌های مورد مطاله از نظر صفات وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن تر ریشه تفاوت معنی‌داری وجود دارد (Musters & Bouten, 2000). موفقیت مدل‌هایی که رشد ریشه و توزیع آن را شبیه‌سازی می‌کنند به چگونگی شناخت دقیق روابط موجود بین صفات مربوط به ریشه ازجمله وزن خشک ریشه، حجم ریشه، طول ریشه و روابط آن‌ها با اندام هوایی بستگی دارد (Shaaban et al., 2012).

یافته‌های این مطالعه نشان داد که صفات ریشه اندازه‌گیری شده دارای دامنه تنوع خوبی در بین لاین‌های نخود مورد مطالعه بودند که این نتایج با مطالعات قبلی مطابقت دارد (Purushothaman et al., 2017; Serraj et al., 2004; Muriuki et al., 2020; Lalitha et al., 2015). در مطالعه بر روی صفات ریشه نخود، تنوع لاینی قابل توجهی بین صفات ریشه به‌ویژه طول ریشه و وزن خشک ریشه در مرحله گیاهچه‌ای مشاهده شد (Ganjeali et al., 2010). هیچ یک از لاین‌ها برای همه صفات ریشه برتری نشان نداد که این نتیجه با نتایج سایر محققان هم‌خوانی دارد (Ganjeali & Bagheri, 2010). در مطالعه حاضر، بیشترین مقدار چگالی ریشه در لاین FLIP09-149C به‌میزان ۰/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. چگالی ریشه، صفتی است که متأثر از وزن و حجم ریشه می‌باشد. در یک مطالعه نشان داده شد که در شرایط تنش خشکی، کاهش حجم ریشه باعث افزایش چگالی ریشه شد و در پایان دوره رشد، کاهش وزن خشک ریشه بیش از کاهش حجم آن بود که در نهایت، منتج به کاهش چگالی ریشه شد (Ganjeali et al., 2010). محققان گزارش کردند که با کاهش رطوبت و افزایش عمق خاک، چگالی ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Coohi Chelecaran et al., 2015).

نتیجه‌گیری

معمولاً نخود در مناطقی کشت می‌شود که رطوبت خاک محدودکننده و با خشکی انتهای فصل همراه است. زمین‌های این مناطق معمولاً از لحاظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، نامناسب هستند. در چنین مناطقی، سیستم ریشه‌ای مناسب برای جذب حداکثر آب محدود موجود در خاک می‌توانند در ثبات عملکرد مؤثر باشد. این خاصیت تنها از طریق سازوکارهای سازگاری مرتبط با ریشه و اندام‌های هوایی حاصل خواهد شد. نتایج این مطالعه نشان داد که صفات ریشه اندازه‌گیری شده دارای دامنه تنوع خوبی در بین لاین‌های نخود مورد مطالعه بودند. لاین FLIP07-20C با داشتن بیشترین طول ریشه، تراکم طول ریشه و محتوای آب ریشه می‌تواند ضمن استفاده از آب موجود در حجم وسیع‌تری از پروفیل خاک، از عناصر غذایی بیشتری نیز در طول دوره رشد بهره‌مند گردد و در برابر شرایط تنش خشکی تحمل بهتری از خود بروز می‌دهد. چرا که مطالعات عمق ریشه‌دهی در نخود نشان داده است که طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین خصوصیت به‌منظور ارزیابی میزان جذب آب توسط گیاه و تحمل خشکی می‌باشد. علاوه‌بر طول ریشه، طول مخصوص ریشه (نسبت طول ریشه به جرم آن) نیز از صفات مهم در نشان دادن کارایی ریشه در جذب آب و مقاومت به خشکی به‌شمار می‌آید. گیاه هنگام مواجهه با تنش خشکی برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد، ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص می‌دهد، در نتیجه تغییراتی در خصوصیات موفولوژیکی ریشه‌ها مانند افزایش طول ریشه‌ها در واحد وزن (طول مخصوص ریشه) ایجاد می‌شود، بنابراین نتیجه می‌شود، لاین FLIP 82-150C با داشتن بیشترین طول مخصوص ریشه بتواند مقاومت بهتری در برابر شرایط تنش خشکی از خود نشان دهد. از آنجا که حجم ریشه نیز از مهم‌ترین ویژگی‌های گیاه به‌منظور جذب آب و مواد غذایی است و نسبت حجم ریشه به اندام‌های هوایی می‌تواند یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پیش‌بینی‌شده برای میزان تنفس و جذب آب باشد، لاین FLIP07-31C با دارا بودن بیشترین حجم ریشه می‌تواند به‌نسبت تحمل خوبی در برابر شرایط تنش خشکی داشته باشد. به‌طور کلی، اطلاعات به‌دست آمده در مورد تنوع ژنتیکی صفات ریشه در لاین‌های نخود مورد مطالعه در این تحقیق ارزشمند است و دانش پایه را برای پیشرفت بیشتر در انتخاب و اصلاح صفات ریشه در جهت اجتناب از خشک‌سالی و اصلاح لاین‌ها نخود مقاوم به خشکی فراهم می‌کند.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از آقای مهندس موسی قریشی‌زاده برای کمک در اندازه‌گیری‌های گلخانه‌ای و همه عزیزانی که ما را در اتمام این پروژه یاری نمودند قدردانی می‌شود.

References

Ashraf, M., & Hariss, P.J.C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Journal of Photosynthetica, 51*(2), 163-190. https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6

Akhavan, S., Shabanpour, M., & Esfahani, M. (2012). Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. *Water and Soil, 26*(3), 727–735. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.14941

Arnon, I. (1972). Crop Production in Dry Region. Leonard hill Publishers London.

Bauhus, J., & Messier, C. (1999). Evaluation of fine root length and diameter measurements obtained using RHIZO image analysis. *Agronomy Journal, 91*(1), 142-147. https://doi.org/10.2134/AGRONJ1999.00021962009100010022X

Caird, M.A., Richards, J.H., & Donovan, L.A. (2007). Nighttime stomatal conductance and transpiration in C_3 and C_4 plants. *Plant physiology, 143*(1), 4-10. https://doi.org/10.1104/pp.106.092940

Chen, Y., Ghanem, M.E., & Siddique, K.H. (2017). Characterizing root trait variability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm. *Experimental Botany, 68*(8), 1987-1999. https://doi.org/10.1093/jxb/erw368

Coohi chelecaran, N., Alizade, A., & Davari, K. (2015). The effect of different amounts of irrigation on root length density and corn yield in drip irrigation. *Water Research in Agriculture, 29*, 331-340.

Eshghizadeh, H.R., Kafi, M., Nezami, A., & Khoshgoftarmanesh, H. (2012). Studies on the role of root morphology attribution in salt tolerance of blue-panicgrass (*Panicum antidotale* Retz.) using artificial neural networks. *Research on Crops, 13*(2), 534-544.

Ganjeali, A., & Bagheri, A.R. (2010). Evaluation of morphological characteristics of root chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. *Iranian Journal Pulses Research, 1*(2), 101-110. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v1i2.9225

Ganjeali, A., & Kafi, M. (2007). Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Botany, 39*(5), 1523-1531.

Ganjeali, A., Kafi, M., & Bagheri, A., (2010). Approaches from root studies on chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agricultural Sciences, 13*(1), 179-189. (In Persian with English Abstract)

Ganjeali, A., Kafi, M., & Sabet Teimouri, M., (2010). Variations of root and shoot physiological indices in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences, 3*(1), 35-45. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2010.81

Hajabbasi, M.A. (2001). Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. *Agricultural Science and Technology, 3*(1), 67-77.

Harris, G.A., & Campbell, G.S. (1989). Automated quantification of roots using a simple image analyzer. *Agronomy, 81*(6), 935-938. https://doi.org/10.2134/AGRONJ1989.00021962008100060017X

Hasanabadi, T., Ardakani, M.R., Rejali, F., Paknejad, F., Eftekhari, S.A., & Zargari, K. (2010). Response of barley root characters to co-inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas flouresence* under different levels of nitrogen. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 9*(2), 156-162.

Huang, B., & Gao, H. (2000). Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Science, 40*(1), 196-203. https://doi.org/10.2135/CROPSCI2000.401196X

Imtiaz, M. (2010). A quantitative genetic approach to drought tolerance in chickpea. ASA, CAAS. and SSSA International Annual Meetings Long Beach, California, 31 Oct.- 4 Nov.

Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H.D., Krishna, H., Chandra, S., Vadez, V., & Serraj, R. (2005). Genetic variability of drought-avoidance root traits in the mini-core germplasm collection of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Euphytica, 146*(3), 213-222. https://doi.org/10.1007/s10681-005-9007-1

Lalitha, N., Upadhyaya, H.D., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kavikishor, P.B., & Singh, S. (2015). Assessing genetic variability for root traits and identification of trait-specific germplasm in chickpea reference set. *Crop Science, 55*(5), 2034-2045. https://doi.org/10.2135/CROPSCI2014.12.0847

Mahanta, D., Rai, R.K., Mishra, S.D., Raja, A., Purakayastha, T.J., & Varghese, E. (2014). Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research, 166*, 1-9. https://doi.org/10.1016/J.FCR.2014.06.016

Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., & Sohrabi, Y. (2011). Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Australian Journal of Crop Science, 5*(10), 1255-1260.

Manschadi, A.M., Christopher, J., & Hammer, G.L. (2006). The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. *Functional Plant Biology, 33*(9), 823-837. https://doi.org/10.1071/FP06055

Meskini-Vishkaee F, Mohammadi M.H, Neishaboori M.R, & Shekari F. (2016). Effect of soil moisture on wheat and canola root respiration rates in two soil textures. *Plant Process and Function*, *4*, 177-188.

Muriuki, R., Kimurto, P.K., Towett, B.K., Vadez, V., & Gangarao, R. (2020). Study of root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *African Journal of Plant Science, 14*(11), 420-435. https://doi.org/10.5897/AJPS2019.1819

Musters, P.A.D., & Bouten, W. (2000). A method for identifying optimum strategies of measuring soil water contents for calibrating a root mater uptake model. *Journal of Hydrology*, *227*, 273-286. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00187-0

Pedersen, A., Zhang, K., Thorup-Kristensen, K., & Jensen, L.S. (2009). Modeling diverse root density dynamics and deep nitrogen uptake – A simple approach. *Plant and Soil*, *32*(1-2), 493-510. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0028-8

Purushothaman, R., Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H.D., Vadez, V., & Varshney, R.K. (2017). Root traits confer grain yield advantages under terminal drought in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, *201*, 146-161. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.004

Ramamoorthy, P., Lakshmanan, K., Upadhyaya, H.D., Vadez, V., & Varshney, R.K. (2017). Root traits confer grain yield advantages under terminal drought in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, *201*, 146-161. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.004

Razavi Nasab, A., Shirani, H., Tajabadi pour, A., & Dashti, H. (2011). Effect of salinity and organic matters on chemical composition and root morphology of pistachio seedlings. *Journal Crop Improvement*, *13*, 31-42.

Regan, K.L., Siddique, K.H.M., & Shackles, R.F. (2001). Kabuli chickpea production in the Ord River Area. Farmnote, 99. Department of Agriculture Western Australia.

Schenk, M.K., & Barber, S.A. (1979). Root characteristics of corn genotypes as related to p uptake 1. *Agronomy*, *71*(6), 921-924. https://doi.org/10.2134/agronj1979.00021962007100060006x

Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S., & Crouch, J.H., (2004). Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) Grown under terminal drought. *Field Crops Research*, *88*, 115-127. https://doi.org/10.1016/J.FCR.2003.12.001

Shaaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., & Parchin, R.A. (2012). Effect of drought stress and starter nitrogen fertilizer on root characteristics and seed yield of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Seed and Plant Production*, *27*(4), 101-120. (In Persian)

Sheldrake, A.R., & Saxena, N.P. (1979). Growth and development of chickpeas under progressive moisture stress. *Stress Physiology in Crop Plants*, *2*, 465-483.

Turner, N.C., Wright, G.C., & Siddique, K.H.M. (2003). Adaptation of grain legumes to water-limited environment: Selection for physiological, biochemical and yield component characteristics for improved drought resistance. In: Saxena, N. P. (Ed.), pp. 43-80.

Wu, Y., & He, D., (2011). Advances in root hairs in Gramineae and *Triticum aestivum*. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(5), 1047-1050. https://doi.org/10.5897/AJAR10.020